

# БУМАГА НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

А. А. Пугач

## ВВЕДЕНИЕ

Нанотрубки - это протяженные цилиндрические структуры диаметром от одного до нескольких десятков нанометров и длиной до нескольких микрон, состоящие из одного или нескольких свернутых в трубку гексагональных графитовых слоев и заканчивающиеся обычно полусферической головкой, которая может рассматриваться как половина молекулы фуллерена [1, с. 401]. Яркий пример использования углеродных нанотрубок – ультратонкий проводящий материал, называемый углеродной бумагой.

## ПОЛУЧЕНИЕ БУМАГИ ИЗ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

Для получения бумаги из материала нанотрубок использовались очищенные одностенные углеродные нанотрубки (ОУНТ), поставляемые компанией Carbon Nanotechnologies Inc. в форме мелких шариков, так называемых BuckyPearls. Данные ОУНТ диспергировались в водном растворе поверхностно-активного вещества Triton X-100 с помощью ультразвуковой обработки и затем фильтровались с использованием процедуры вакуумной фильтрации. Под действием вакуума дисперсия ОУНТ пропусклась через политетрафторэтиленовый мембранный фильтр (Millipore LS, диаметр пор 5 мкм). Получившиеся после высыхания листы бумаги снимались с фильтра и тщательно промывались в больших количествах воды и метанола для удаления поверхностно-активных веществ и затем высушивались. Полученные листы бумаги, состоящие из нанотрубок, затем отжигались при температуре до 1000°C в течение 9 часов в потоке аргона для удаления остатков растворителей и поверхностно-активных веществ.

## ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Снятие вольтамперной характеристики (ВАХ) проводилось при помощи ячейки, созданной на пластинке из фольгированного текстолита. Контакты были изготовлены на основе посеребренных элементов контактных групп стандартных реле и медных дорожек вытравленных на текстолитовой пластинке. Результаты измерения представлены на *рисунке 1*.

Результаты измерения можно объяснить следующим образом: перенос электронов в бумаге определяется только металлическими УНТ. Между некоторыми металлическими УНТ не омический контакт, обусловлен-

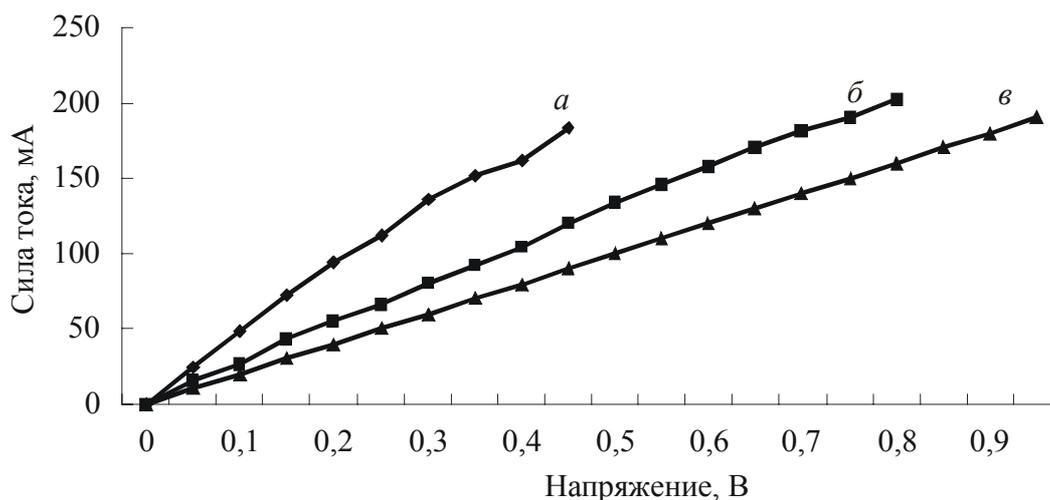


Рис 1. Вольтамперная характеристика бумаги на основе УНТ выращенных разными методами: а NiPCO, б лазерный (после отжига), в лазерный (без отжига)

ный, по-видимому, различными загрязнениями, что создает между некоторыми УНТ потенциальный барьер на загрязнениях, что и приводит к нелинейной зависимости на ВАХ. Причем при отжиге данные загрязнения удаляются, и практически между всеми трубками устанавливается омический контакт.

Существует несколько методов измерения эффекта Холла, но наиболее подходящим оказался метод, рекомендованный Ван дер Пау. В соответствии с этим методом по краю образца произвольной формы необходимо расположить четыре контакта. Магнитное поле направлено перпендикулярно образцу.

Измерения эффекта Холла в комбинации с измерениями слоевого сопротивления позволяют получать информацию о концентрации носителей заряда и их подвижности. Для проведения этих исследований создана ячейка на пластинке из фольгированного текстолита. Контакты были изготовлены на основе посеребренных элементов контактных групп стандартных реле.

В случае симметричной конфигурации слоевое сопротивление определяется по Ван дер Пау выражением:

$$R_S = \frac{\pi U_{3,4}}{\ln 2 \cdot I_{1,2}}, \quad (1)$$

где  $U_{3,4}$ ,  $I_{1,2}$  — измеряемое напряжение и задаваемый ток на соответствующих контактах 3–4 и 1–2.

Слоевой коэффициент Холла  $R_{H,s}$  вычисляют по формуле:

$$R_{h,S} = \frac{\Delta U_{H1,3}}{2I_{2,4}B}, \quad (2)$$

где  $U_H$  - напряжение Холла,  $B$  – напряженность магнитного поля.

На практике, чтобы снизить влияние несимметрии структуры и помех, связанных с магнитоэлектрическими эффектами, и уменьшить погрешности измерений при низких напряжениях, измерения проводят также при двух направлениях тока. Значения  $R_S$  и  $R_{H,S}$  находят усреднением измеренных значений. Используя формулы (1) и (2) можно найти эффективную поверхностную концентрацию носителей  $N_{S\text{eff}}$  и эффективную холловскую слоевую подвижность  $\mu_{S\text{eff}}$ :

$$N_{S\text{eff}} = \frac{r}{qR_{H,S}}, \quad (3)$$

$$\mu_{S\text{eff}} = \frac{R_{H,S}}{rR_S} = \frac{1}{N_{S\text{eff}} \cdot qR_S}, \quad (4)$$

где  $q$  - заряд электрона,  $r$  – холл-фактор – коэффициент, учитывающий механизм рассеяния.

Результаты холловских измерений приведены в таблице.

Мы получили хорошее согласие теории и эксперимента для изолированных УНТ. Однако построить строгую теорию для описания на микроуровне электронного транспорта в таком сложном объекте как бумага на основе УНТ не представляется пока возможным.

Таблица

**Результаты холловских измерений**

Образец бумаги	Слоевое сопротивление $R_S$ , Ом/□	Слоевая концентрация носителей $N_S$ , см <sup>-2</sup>	Холловская подвижность $\mu$ , см <sup>2</sup> /(В*с)
Laser-SWNT paper (Unannealed)	2,42	2-5x10 <sup>17</sup>	5,2-13,1

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Бумага на основе углеродных нанотрубок – материал будущего. Он в 10 раз легче, но в 250 прочнее стали. Этот материал может использоваться в авиации или при создании легких, эффективных бронезилетов. Бумага также может использоваться в качестве защитного слоя транспорта или при конструировании прочных, надежных и очень тонких дисплеев. Данный материал может найти свое применение в структурных и электрохимических системах, основанных на потенциальных механических

свойствах бумаги, в приводах, конденсаторах, электродах и устройствах с полевой эмиссией [2].

В результате проделанной работы были измерены электрические свойства бумаги на основе УНТ. Снята вольтамперная характеристика бумаги, вычислены холловская подвижность носителей, слоевая концентрация носителей, слоиное сопротивление.

#### **Литература**

1. *Елецкий А. В.* Углеродные нанотрубки и их эмиссионные свойства // *Успехи физических наук.* 2002. №4. С. 401–417
2. <http://amos.indiana.edu/library/scripts/buckypaper.html>

## **РЕАЛИЗАЦИЯ ФУНКЦИЙ ПРОВЕРКИ СЕРИЙНЫХ НОМЕРОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ**

**А. Н. Сидоревич**

### **ВВЕДЕНИЕ**

С целью защиты программного обеспечения используется метод серийных номеров для регистрации или активации программного продукта. Как правило, серийный номер высылается пользователю, прошедшему этап регистрации и оплатившему ее стоимость.

Различают статические серийные номера (одинаковые для всех пользователей) и динамические (различные для разных пользователей, разных конфигураций компьютеров и т.п.). Статический номер не обеспечивают надежной защиты – его можно подсмотреть у соседа или знакомого, а затем дома ввести и зарегистрировать продукт. Сложнее подобрать динамический номер – последовательность байт, зависящую от имени пользователя, параметров операционной системы, номера сетевой карты, а также программных и аппаратных средств. Пользователь может самостоятельно выбрать имя, под которым регистрируется продукт и в этом случае регистрационный ключ зависит от заданного логина. Иногда для получения ключа требуется вместе с некоторой суммой предать производителю значение, сгенерированное программой (это может быть зашифрованный номер винчестера, сетевой карты и т.п.).

### **ПРОСТОЕ СРАВНЕНИЕ С ЭТАЛОНОМ**

Одной из первых реализаций этого метода было непосредственное сравнение с эталоном – байт за байтом, в этом случае регистрационный номер можно без труда извлечь из самой программы.